

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ENERGÉTICO
RENOVABLE PARA LA FUNDACIÓN KYRIOS

DIANA VICTORIA CARDOZO PÉREZ

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

DIRECTOR: EDGAR ALONSO SALAZAR MARÍN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
2018

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3 OBJETIVOS.....	3
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4 MARCO REFERENCIAL	4
4.1 MARCO TEÓRICO	4
4.1.1 Sistema solar fotovoltaico	6
4.2 MARCO HISTÓRICO	8
5 DISEÑO METODOLÓGICO	9
5.1 REVISIÓN DE LAS CONEXIONES EXISTENTES	9
5.2 INSTALAR EL SISTEMA DE MANERA ADECUADA.....	11
5.3 MEDIR LA POTENCIA GENERADA Y LA POTENCIA DEMANDADA.....	11

6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
6.1	CONEXIONES EXISTENTES	12
6.2	INSTALACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO.....	12
6.2.1	Paneles solares	15
6.2.2	Arreglo de baterías	16
6.2.3	Inversor híbrido bidireccional	16
6.2.4	Protecciones	18
6.3	ANÁLISIS DE CARGAS DE MAYOR DEMANDA	19
6.3.1	Lavadora 1.....	20
6.3.2	Lavadora 2	23
6.3.3	Nevera 1	23
6.3.4	Nevera 2	27
6.4	ANÁLISIS DE CONSUMO DIARIO Y MENSUAL DE LAS CARGAS DE MAYOR DEMANDA	27
6.5	ANÁLISIS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA	28
7	BIBLIOGRAFÍA.....	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Muestreo de corriente y potencia en intervalos de 3 minutos para la lavadora 1	20
Tabla 2 Energía consumida por la lavadora 1 en kWh / ciclo	22
Tabla 3. Datos de energía, potencia mínima y potencia máxima en 54 minutos de la lavadora 2	23
Tabla 4. Muestreo de la corriente y de la potencia en intervalos de 2 minutos para la nevera 1	24
Tabla 5 Energía demandada por la nevera 1 en kWh.....	26
Tabla 6. Potencia mínima, potencia máxima y energía de la nevera 2.....	27
Tabla 7 Consolidado de cargas de mayor demanda.....	27
Tabla 8. Información de consumo	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. velocidad del viento promedio a 10 metros de altura (m/s). Tomado de http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html	5
Figura 2. Irradiación global horizontal media diaria anual. Tomado de http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html	5
Figura 3. Representación del interior de una celda.	6
Figura 4. Inversor híbrido	8
Figura 5 medidores a utilizar	11
Figura 6. Instalación de paneles solares en el techo de una de las construcciones.	14
Figura 7. Esquema de conexiones del sistema híbrido fotovoltaico	14
Figura 8. Gráfico del muestreo en la lavadora 1	21
Figura 9 curva de demanda de la lavadora 1 discretizada en intervalos de 3 minutos	22
Figura 10. Gráfico del muestreo de la nevera 1	25
Figura 11 Curva de carga de la nevera 1 discretizada en intervalos de 2 minutos	25
Figura 12. Curva de carga de históricos mensual	29
Figura 13 Horas sol pico (HSP) (Salas, 2014)	30

DEDICATORIA

*A mí madre, por no perder la
confianza en mí.*

*A Marcelo, por ser mi motor de
arranque.*

A Máximo, por ser mi polo a tierra.

*A mi abuelita Rosario, por ser mi
mejor maestra.*

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto un creciente interés en el uso eficiente de las energías renovables como solución a las necesidades energéticas de la sociedad y respuesta al evidente cambio climático que afecta nuestro planeta.

La energía solar fotovoltaica ha surgido como una de las soluciones eco-eficientes a la demanda energética debido a que su costo de inversión inicial se recupera cada vez en menor tiempo. Adicional a esto tiene como ventaja el poco mantenimiento que requiere. (Rodríguez, Pabón Fernández, & Pardo García, 2012) (Gallardo, 2012).

Con este enfoque se trabaja en la implementación un sistema híbrido fotovoltaico de 1 kW buscando así la reducción del costo de la factura de electricidad para la fundación Kyrios ubicada en un sector social vulnerable de la ciudad de Pereira.

Con la aplicación de este tipo de proyectos para el beneficio social se cierra el verdadero ciclo de la sostenibilidad generando un impacto social con lo ambiental. Este documento está compuesto por siete capítulos en los cuales se encuentra la teoría alrededor de los sistemas fotovoltaicos, posteriormente se muestra la metodología empleada para la instalación del sistema fotovoltaico híbrido, por último, se realiza el estudio y análisis de los resultados del sistema, así como la evaluación de eficiencia y de las cargas de mayor consumo existentes en la fundación Kyrios.

Con este trabajo de investigación formativa se pretende concientizar sobre el uso de las energías renovables como alternativa para el medio ambiente y para el ahorro en las facturas de energía tradicionales. Se desea impulsar el buen uso de las tecnologías medioambientalistas en pro del beneficio del ser humano en armonía con la naturaleza.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en el panorama mundial energético el uso energías renovables está en auge. Por su parte, Colombia, que es un país ampliamente dedicado a la generación eléctrica impulsada por el recurso hídrico y en menor cantidad por centrales térmicas, también se ha preocupado por ingresar a esta tendencia mundial de energías naturales. El IPSE confirma que alrededor del 3% de la energía consumida en Colombia proviene de fuentes solares. (La energía natural que mueve el mundo, 2015)

La fundación Kyrios es un centro de restauración de personas en condición de vulnerabilidad encontrando casos de personas que han sido víctimas de desplazamiento forzado, drogadicción, abandono, violencia sexual, etc. convirtiéndose así en una oportunidad de resocialización y apoyo para las personas desprotegidas de la ciudad de Pereira.

Actualmente la fundación carece de inversión externa, lo que provoca escases de recursos económicos para el pago de la factura de energía eléctrica que mensualmente asciende a los \$500.000 pesos. La instalación de un sistema híbrido fotovoltaico surge como solución a la onerosa situación de la fundación Kyrios en el marco de la aplicación de las energías renovables en Colombia.

Los sistemas híbridos fotovoltaicos amortiguan el gasto económico que acarrea la factura de electricidad puesto que estos trabajan haciendo un equipo entre la red eléctrica y la energía fotovoltaica, adicional a esto el sistema a implementar cuenta con una fuente de respaldo representadas en unas baterías que permitirán un mayor espectro de trabajo por parte de la energía alternativa una vez entradas las horas de la noche, en las cuales la radiación del sol ya no está.

La Universidad **Tecnológica** de Pereira, debe procurar apoyar de manera más decidida proyectos que tienen a generar aplicaciones reales de tipo **tecnológico** que generen un verdadero impacto en lo social, además del compromiso continuo con lo ambiental.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar y evaluar un sistema híbrido fotovoltaico interconectado a la red con soporte de baterías para satisfacer una demanda energética de 120 kWh en un contexto social vulnerable (fundación Kyrios).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar un sistema fotovoltaico híbrido que satisfaga con seguridad y normatividad 1 kW de la carga demandada por la fundación Kyrios.
- Adecuar las instalaciones eléctricas y componentes que permitan el uso seguro y efectivo de carga demandada por la fundación.
- Desarrollar los diagramas unifilares respectivos.
- Realizar las mediciones y pruebas de validación del sistema.
- Analizar la potencia generada del sistema fotovoltaico y demandada por la carga.
- Realizar el análisis de eficiencia del sistema en función de la energía consumida antes y después de la puesta en funcionamiento.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

Los sistemas de energía híbridos son aquellos que utilizan dos o más fuentes de energía, estos pueden usar una fuente primaria de energía que puede ser renovable como la energía solar térmica, eólica, biomasa, solar fotovoltaica, mareomotriz, geotérmica, etc. funcionando en sociedad con alguna fuente de almacenamiento o interconectada a la red convencional. Un sistema híbrido interconectado a la red presenta ventajas como mayor equilibrio y confiabilidad, mejor calidad de la energía, adicional a esto se reduce la dependencia del clima que tiene los sistemas convencionales de energía renovables, que dependen de las variaciones climáticas ante tiempos de sequía para sistemas hidráulicos; y tiempos de invierno intenso para los sistemas dependientes de la energía solar; de modo que los sistemas híbridos son tendencia en las zonas remotas en las que las fuentes de energía convencionales son de difícil acceso ya sea por condiciones de topografía o por el costo de los combustibles.

Ahora queda como reto el desarrollo metodologías para la selección óptima de la fuente de energía primaria, selección de los dispositivos que integran el sistema híbrido, y estudios profundos a cerca de la calidad de la energía proporcionada sobre el sistema híbrido. Estudios de pre factibilidad se basan en datos meteorológicos locales que determinan la disponibilidad y magnitud de la energía eólica y solar medida en la velocidad del viento Fig 2. y la radiación solar Fig 2. del lugar dónde se pretende la instalación del sistema híbrido. (Pragya, R.K., & Saroj, 2009)

Figura 1. velocidad del viento promedio a 10 metros de altura (m/s). Tomado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

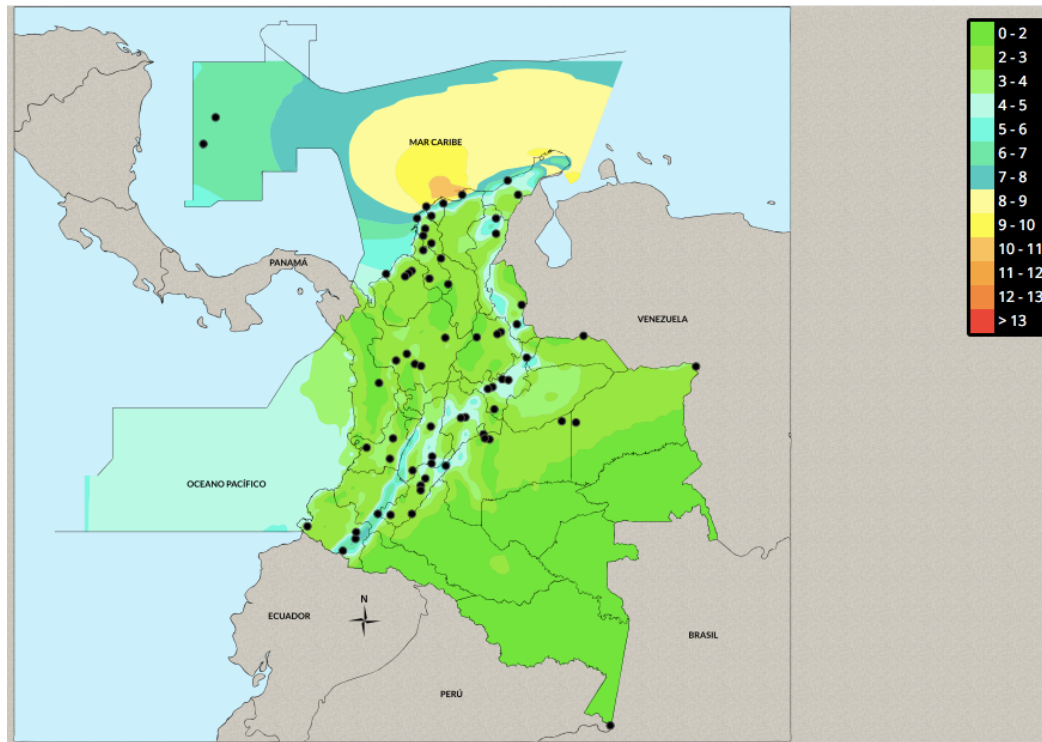
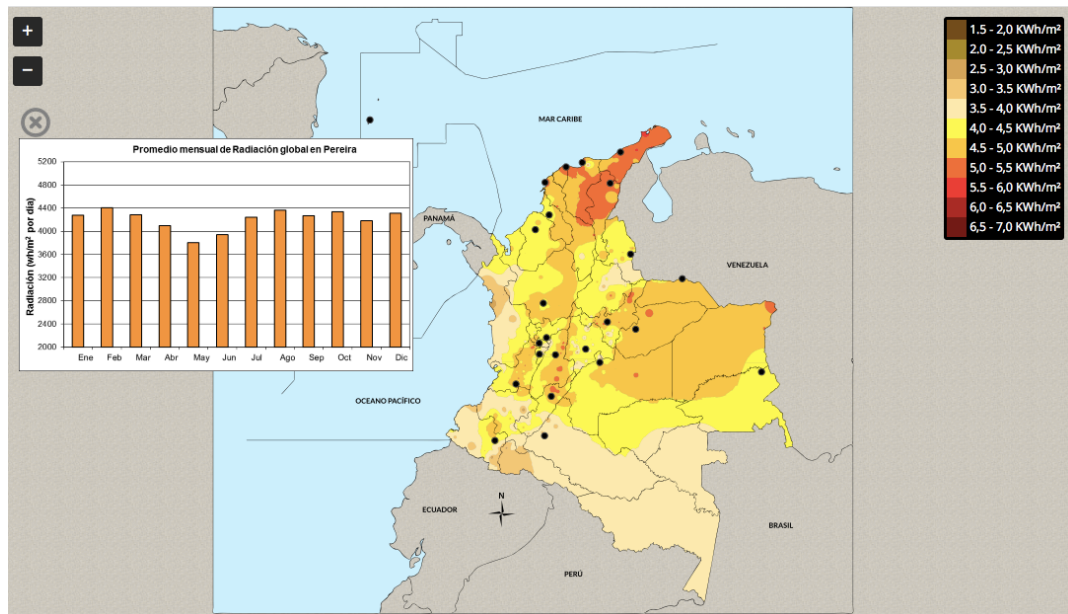


Figura 2. Irradiación global horizontal media diaria anual. Tomado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

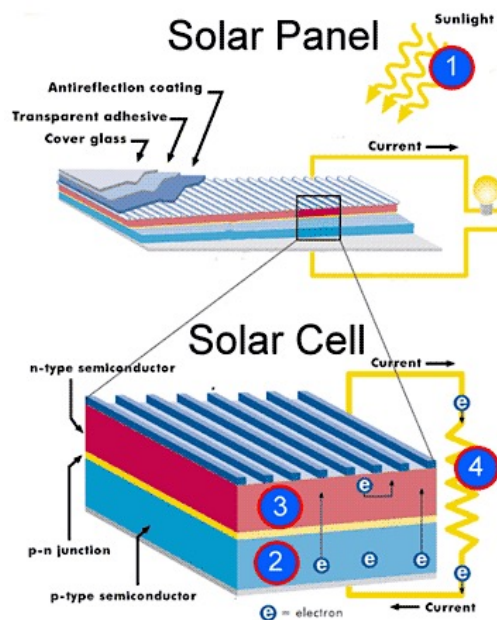


4.1.1 Sistema solar fotovoltaico

La energía solar es una de las fuentes renovables de mayor potencial, ya que muchos expertos aseguran que la era de la energía producida por el petróleo está llegando a su fin. Lo que nos impulsa a recorrer el largo camino para la óptima utilización de las energías renovables y por supuesto de la energía solar.

4.1.1.1 Paneles solares: Los paneles solares como eje principal del aprovechamiento de la energía solar de forma fotoeléctrica están formados por muchas celdas solares. Las celdas solares son pequeñas células hechas de silicio cristalino y/o Arseniuro de galio (solar), los cuales son materiales semiconductores. Estos dos materiales se mezclan con el fósforo o el boro, con el fin de tener una carga positiva y una carga negativa. Entonces una celda se construye con un material semiconductor al que le sobran electrones con carga negativa y otra parte se hace con un material semiconductor al que le faltan electrones con carga positiva, así cuando las celdas solares se exponen a la luz del sol directamente producen un flujo de electrones, la energía del sol mueve los electrones de la celda que le sobran hacia la parte de la célula que le faltan. Este movimiento de electrones es justamente la corriente eléctrica generada por la incidencia de los rayos del sol sobre el panel solar.

Figura 3. Representación del interior de una celda.



Los paneles solares a instalar en los paneles de referencia YGE 60 CELL cuyas características principales se presentan en el ANEXO 1.

4.1.1.2 Banco de baterías: La energía solar no llega a los módulos fotovoltaicos de manera uniforme esto pasa porque la energía solar depende de manera directa del clima. Por ejemplo, si pasa una nubosidad en determinado momento, Por estas variaciones que son impredecibles se hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación solar recibida sobre el generador fotovoltaico no sea suficiente para el óptimo funcionamiento del sistema. Para ello se utilizarán arreglos de baterías. Las baterías son cargadas por la energía eléctrica generada por los paneles solares a través de un regulador de carga y pueden entregar su energía a la salida de la instalación.

4.1.1.3 Regulador: El elemento regulador es el que va instalado entre los paneles solares y el inversor. Este dispositivo es el encargado de evitar sobre carga y sobre descarga del banco de baterías, esto con el fin de alargar la vida útil de las baterías. En la parte de la sobrecarga su función es evitar que la carga de las baterías se exceda y se garantice una carga suficiente. En la zona de trabajo de las descargas se encarga de asegurar el suministro eléctrico suficiente diario y evitar la descarga excesiva de la batería.

4.1.1.4 Inversor: Las cargas que se van a alimentar son a 120 V en corriente alterna a una frecuencia de 60 Hz, para esta función se utiliza un equipo que transforme la corriente continua, procedente del regulador, en corriente alterna para alimentar las cargas. Esta es la función del inversor. A la hora de dimensionar el inversor, se tendrá en cuenta la potencia que demanda la suma de todas las cargas AC en un instante, de este modo se elegirá un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por las cargas, suponiendo su funcionamiento al mismo tiempo. (Lorenzo)

Figura 4. Inversor híbrido



Las características técnicas del inversor híbrido se presentan en el ANEXO 2.

4.2 MARCO HISTÓRICO

El desarrollo de la energía solar fotovoltaica en Colombia se ha dado con mayor énfasis hacia el área rural, donde los costos a largo plazo de la generación, transporte, operación y mantenimiento de la energía es mayor a la generación solar en zonas remotas y distantes.

En los años 80, con la asistencia de la Universidad Nacional, surgió el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom. En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos para radioteléfonos rurales, el programa siguió avanzando hasta llegar a instalar sistemas de 3 y 4 kW para las antenas satelitales terrenas. Posteriormente varias empresas empezaron a instalar sistemas para sus servicios de telecomunicación. Aún, en la actualidad se usan sistemas solares para repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras.

En los últimos años, a través del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) se han instalado muchos sistemas fotovoltaicos con fuerte financiación estatal. De forma investigativa se han desarrollado diversos grupos universitarios en las grandes universidades del país alrededor de las energías Renovables y específicamente en energía solar. Las investigaciones se desarrollan en temáticas como radiación solar, aplicaciones de

la energía solar (colectores, calentadores de agua, destiladores solares, secadores solares, entre otros), celdas solares y sus aplicaciones. (Murcia, 2009).

5 DISEÑO METODOLÓGICO

Para la realización de este proyecto es necesario realizar las siguientes actividades:

1. Revisar los cableados y conexiones existentes para establecer criterios de mejoramiento y eliminación de focos de alto consumo.
2. Instalar el sistema de manera adecuada para garantizar el funcionamiento óptimo y eficiente tomando las precauciones de seguridad en montaje y en manejo posterior.
3. Medir la potencia generada y demandada. [4]
4. Analizar los datos suministrados por el equipo, tales como Corriente de carga, Corriente de panel, Voltaje de baterías.
5. Establecer los balances energéticos para evaluar la eficiencia del sistema.
6. Capacitar y sensibilizar a la comunidad de la fundación Kyrios para que puedan adquirir sentido de pertenencia del sistema para el adecuado manejo y cuidado de este.

5.1 REVISIÓN DE LAS CONEXIONES EXISTENTES

Para realizar una inspección de las conexiones existentes es importante tener en cuenta las 5 reglas de oro de la electricidad las cuales tienen como objetivo garantizar la seguridad en la realización de trabajos en instalaciones eléctricas.

Reglas de oro

1. Desconexión. Corte efectivo: Una vez definida cual será la zona de trabajo, se desconectarán todas las posibles fuentes de tensión que alimentan la instalación eléctrica de dicha zona.
Se considera que el corte es efectivo cuando exista un corte visible de la alimentación.
2. Prevenir cualquier posible realimentación. Bloqueo y señalización: Todos los dispositivos de maniobra empleados para realizar el corte efectivo de la alimentación de la alimentación, deben bloquearse mecánicamente para evitar su cierre antes de la finalización de la maniobra.
Así, mismo también se señalará el bloqueo con información relativa al trabajo que se está realizando.
3. Verificar ausencia de tensión: Una vez realizada la apertura (corte efectivo, bloqueo y señalización), se verificará la ausencia de tensión de todos los conductores activos de la instalación eléctrica de la zona de trabajo.
4. Puesta a tierra: Es importante Poner a tierra y en cortocircuito todas las partes de la instalación donde se vaya a trabajar.
5. Señalización de la zona de trabajo: La zona de trabajo se delimitará, en superficie y altura mediante una señalización de seguridad mediante elementos de alta visibilidad.
Debe ser claro para todas las personas que pasan por la zona que es una zona de trabajo en la que puede haber riesgo eléctrico.

Si bien estas cinco reglas de oro son mayormente utilizadas en maniobras en alta tensión son reglas básicas para salvaguardar la integridad de las personas que frecuentan la zona de trabajo y las personas que realizan las maniobras.

Para el caso particular de la verificación de las conexiones e instalaciones existentes se sugiere hacer caso riguroso a la regla de oro #1 Desconexión, #2 Bloqueo y señalización.

Se realiza la verificación de las instalaciones elemento como los conductores, las protecciones y la calidad de las instalaciones.

5.2 INSTALAR EL SISTEMA DE MANERA ADECUADA

Para instalar el sistema de manera adecuada se debe tener en cuenta que el lugar es en una fundación de personas con problemáticas sociales que pueden no tener cuidado suficiente con los equipos y no tener conocimiento del manejo que requiere cada una de las partes del sistema, por ello es importante hacer el diseño de la instalación de los paneles solares, en el techo de la vivienda, en donde se espera que no corran riesgo por malas manipulaciones.

El banco de baterías, el regulador y el inversor, será ubicados en un armario cerrado en el cual solo tendrá acceso bajo supervisión de la persona encargada, en el fin de evitar pérdidas en alguno de los elemento o daño por manipulación de manos inexpertas.

5.3 MEDIR LA POTENCIA GENERADA Y LA POTENCIA DEMANDADA

La medición de la potencia demandada se realizará a aquellos electrodomésticos en los cuales se tiene conocimiento que presentan un mayor consumo. Éstos electrodomésticos son dos lavadoras y dos neveras que estaban en uso el día que se realiza la visita.

La metodología empleada es la de muestreo de potencia por intervalos de tiempo, con estos datos, se realiza la curva de carga, curva de duración de carga

Mediante el uso de los siguientes elementos de medición:

Figura 5 medidores a utilizar



6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez estructurada la metodología se procede a desarrollar el trabajo de campo, el cual inicia con la visita al sitio donde sería instalado el sistema solar híbrido fotovoltaico.

6.1 CONEXIONES EXISTENTES

Posteriormente se procedió a realizar una inspección de las instalaciones existentes en las cuales se encontró que la instalación es vieja y no cumple con códigos de colores para la fase, neutro y tierra.

La instalación existente es una instalación que ha crecido en los últimos años sin ningún tipo de planeación, se encuentra entonces que los conductores usados no son los adecuados de acuerdo a la carga que soportan y por ende las protecciones tampoco han sido recalculadas de acuerdo a la expansión del sistema.

Existen conexiones realizadas con conductores tipo dúplex que no son los adecuados para instalaciones eléctricas debido al alto riesgo sobrecarga que puede traer consecuencias catastróficas como incendios y alto índice de pérdidas.

Se encuentran empalmes, tomacorrientes, y plafones en mal estado lo que nos indica que el sistema eléctrico de la fundación no cumple con las normas especificadas en el RETIE que es el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas y fue creado por el Decreto 18039 de 2004, del Ministerio de Minas y Energía cuyo objetivo es El objetivo de este reglamento es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminado los riesgos de origen eléctrico.

6.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO

Una vez realizada la revisión de las conexiones existentes, se procede a realizar la instalación del sistema fotovoltaico híbrido. Para esto se tiene en cuenta que la población es vulnerable y tiene poco o ningún cuidado con los equipos y se decide instalar los paneles solares en el techo de una de las construcciones, debido a que las instalaciones de la fundación son construcciones viejas, se tuvo que pedir la instalación de un poste nuevo a la Empresa de energía de Pereira ya que el

existente era de madera y estaba en pésimas condiciones para la instalación del nuevo medidor bidireccional, el cual es el encargado de registrar la resta entre la potencia inyectada desde la red y la suministrada (en caso de existir) por el sistema híbrido fotovoltaico.

Figura 6-i Sistema híbrido

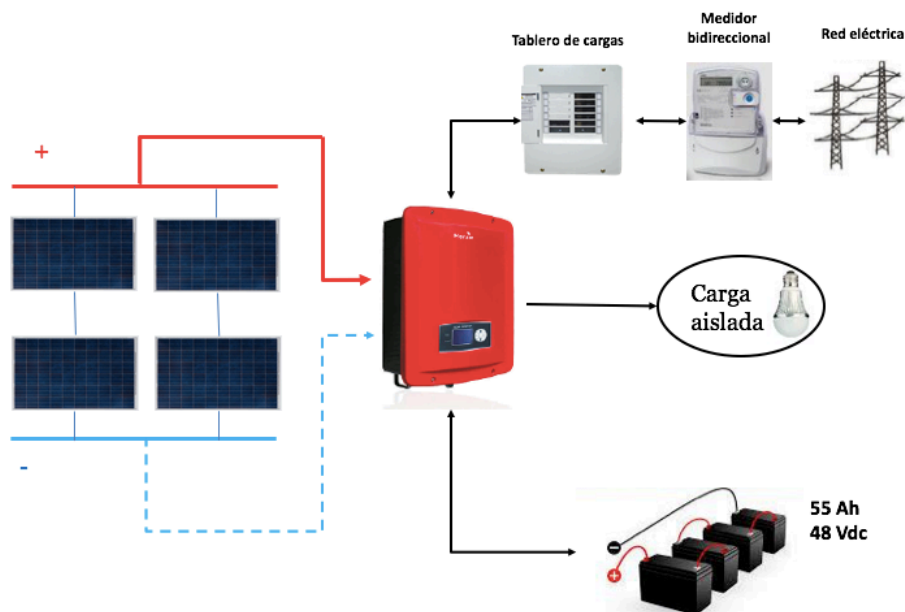


La instalación del sistema está representada por el esquema de la Figura 7 el cual fue realizado siguiendo las especificaciones del manual técnico del inversor ANEXO 2, de los paneles solares ANEXO 1 y el medidor bidireccional ANEXO 3.

Figura 6. Elementos del sistema híbrido fotovoltaico.

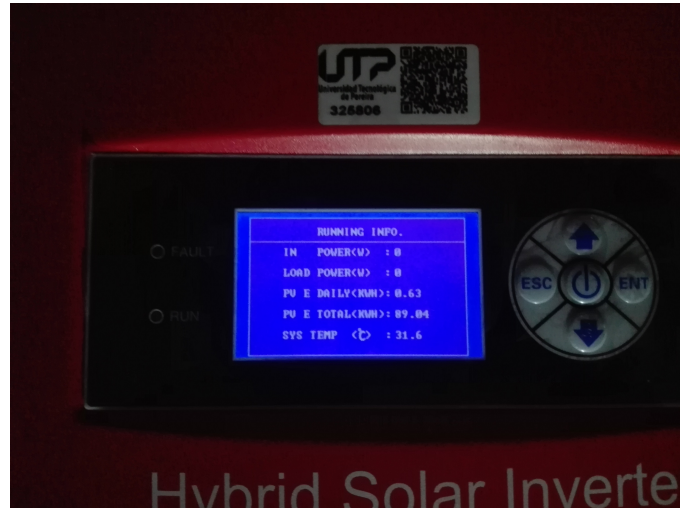


Figura 7. Esquema de conexiones del sistema híbrido fotovoltaico



6.2.1 Paneles solares

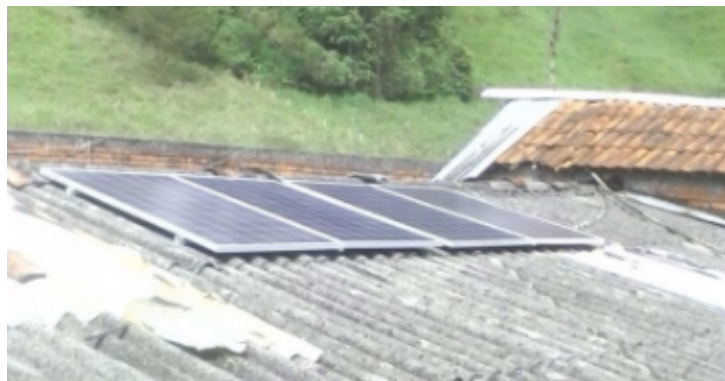
Figura 6-ii Paneles solares en línea con el inversor.



El arreglo de paneles consiste en un paralelo dos series que fueron instalados en el techo de una de las construcciones de la fundación con el objetivo de protegerlos de las manipulaciones inadecuadas que pudieran tener los residentes. Es importante destacar que la ubicación de los paneles está dada las condiciones locativas existentes puesto que no se tuvo en cuenta la inclinación de la tierra, ni del techo en el que fueron ubicados, ni la rotación terrestre para optimizar el recibimiento de los rayos solares sobre los paneles.

La conexión del arreglo de paneles va al inversor híbrido bidireccional pasando el positivo antes por una protección DC.

Figura 6-iii Arreglo de paneles solares.



6.2.2 Arreglo de baterías

El arreglo de baterías consiste en la conexión de cuatro baterías conectadas en serie. Es decir, el positivo de una de ellas con el negativo de la batería siguiente y así sucesivamente para alcanzar el voltaje necesario para el funcionamiento del sistema.

En este caso, el banco de baterías es indispensable para el óptimo funcionamiento del inversor híbrido bidireccional ya que las baterías son las que hacen posible el funcionamiento de este. En caso de que llegue a faltar la red eléctrica, las baterías funcionarían como sistema de respaldo hasta que estas se descarguen.

El arreglo de baterías es de 40 V_{DC} 55 Ah

Figura 6-iv Arreglo de baterías



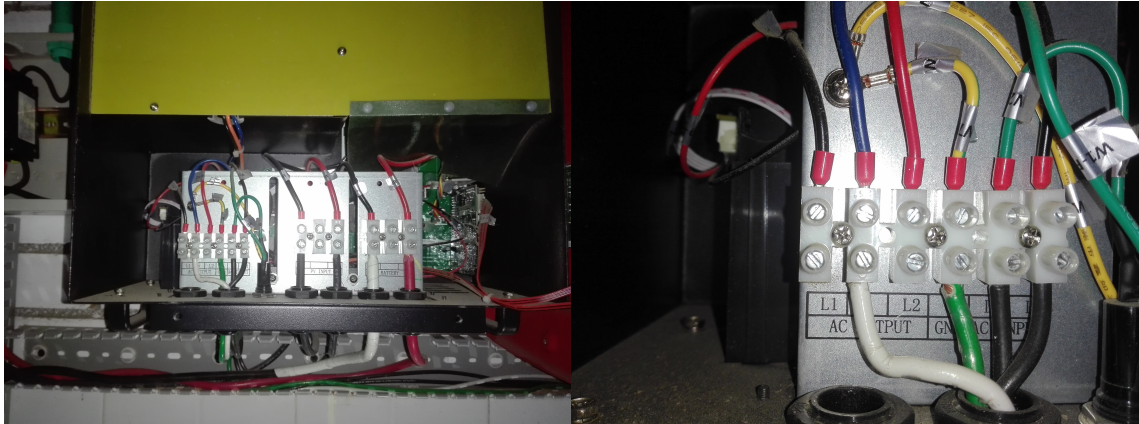
6.2.3 Inversor híbrido bidireccional

Figura 6-v Inversor híbrido



El inversor híbrido cuenta con diferentes entradas y salidas tanto en corriente continua como en corriente alterna. Entre las entradas se tiene el arreglo de paneles solares, el arreglo de baterías y la red bifásica trifilar.

Figura 6-vi Conexiones internas del inversor.



Las salidas con las que cuenta el inversor son: una salida para conectar una carga aislada en corriente continua DC la cual no se encuentra en funcionamiento actualmente sin embargo cabe anotar que es posible tener una expansión del sistema con este recurso; adicional a esta salida, cuenta con la salida en corriente alterna AC la cual va conectada directamente al tablero de distribución de cargas y allí es repartido en los diferentes circuitos de la fundación.

Figura 6-vii Conexiones inversor híbrido bidireccional



6.2.4 Protecciones

El sistema cuenta con varios tipos de protecciones, las cuales están puestas de tal forma que protejan los conductores de sobre corrientes y así evitar el deterioro de los aislantes de los conductores y posteriormente posibles cortocircuitos.

El conductor que lleva el positivo tanto en el arreglo de paneles como en el arreglo de baterías cuenta con protecciones DC antes de ir a la entrada del inversor.

Figura 6-viii Protecciones DC



La protección de la derecha está protegiendo el conductor de positivo que viene de los paneles solares. La protección de la izquierda está protegiendo el positivo que viene del arreglo de baterías.

Las protecciones AC están instaladas en los conductores que van a la entrada del inversor. Están instaladas en las dos fases por medio de un interruptor que viene acoplado para que en caso de que exista falla en una de las dos fases, ambas salgan de servicio y se eviten así daños mayores posteriores a la falla.

Figura 6-ix Protecciones de las fases



Además de estas protecciones está el tablero de distribución de cargas de la casa el cual tuvo que ser modificado debido al mal estado del anterior.

Figura 6-x Tablero de distribución de cargas



6.3 ANÁLISIS DE CARGAS DE MAYOR DEMANDA

Una vez instalado el sistema fotovoltaico se procede a hacer uso de los medidores de la Figura 5, para medir las cargas de mayor demanda encontrada, las cuales son dos neveras y dos lavadoras. Se realizó un muestreo discretizado en el tiempo en intervalos de 3 minutos durante una hora para una nevera y una lavadora, para otra nevera y la otra lavadora se empleó un medidor que nos la potencia mínima, potencia mínima y la energía consumida en un lapso de tiempo.

Los datos obtenidos de las mediciones se presentan en los siguientes resultados y análisis de resultados para cada una de las cargas muestreadas

6.3.1 Lavadora 1.

Para el muestreo de la corriente y potencia de la lavadora 1 se realizaron tomas de corriente y potencia demandada por la lavadora en el ciclo de lavado que se utiliza la lavadora. El ciclo duró 30 minutos, durante los cuales se tomaron 10 muestras de corriente y potencia demandada por la lavadora los cuales están consignados en la Tabla 1.

Tabla 1. Muestreo de corriente y potencia en intervalos de 3 minutos para la lavadora 1

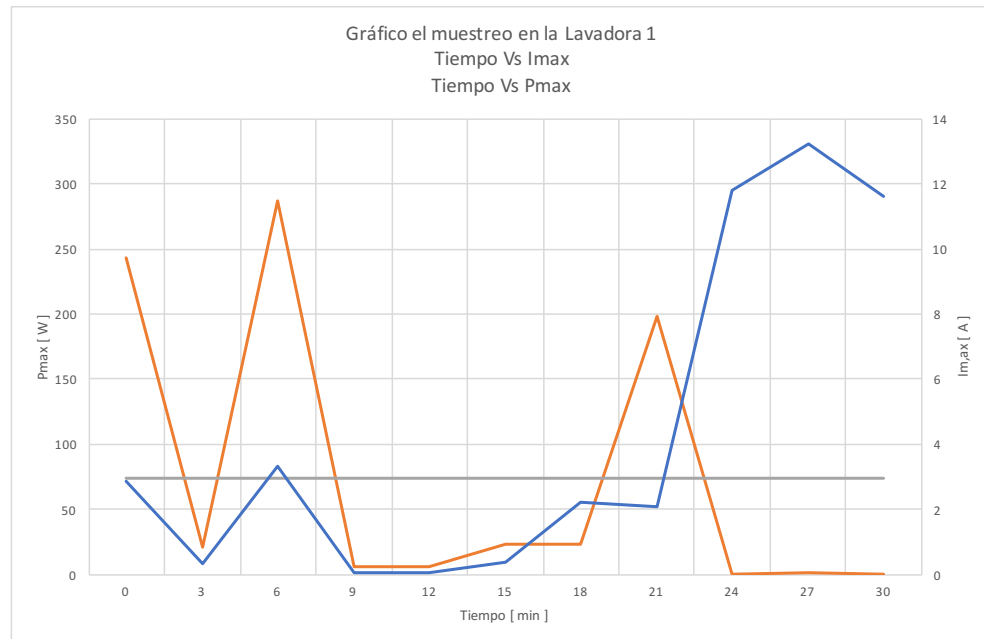
V = 106 v		
Tiempo [min]	I máx [A]	Pmáx [W]
3	2,87	242,7
6	0,34	20,7
9	3,31	287,5
12	0,06	5,7
15	0,06	6
18	0,39	23,1
21	2,21	23,6
24	2,07	198,3
27	11,8	0,3
30	13,21	1,42
33	11,6	0,3

De los datos presentados en la anterior tabla se obtiene que el valor de Corriente máxima durante el ciclo de lavado es de 13,21 Amperios, la potencia máxima

demandada durante el ciclo de lavado es de 242,7 Watts y la potencia promedio demandada durante el ciclo es de 63,70 W.

En el gráfico de la figura 8 se grafica la potencia (eje primario vertical), la corriente (eje secundario vertical) y la potencia promedio (eje primario vertical) para cada muestra tomada cada 3 minutos.

Figura 8. Gráfico del muestreo en la lavadora 1



El cálculo de energía absorbida para la lavadora 1 está dado por el área bajo la curva de la demanda vs tiempo.

$$Energía = \int_0^T D(t)dt = \sum D_i * \Delta t_i$$

Figura 9 curva de demanda de la lavadora 1 discretizada en intervalos de 3 minutos

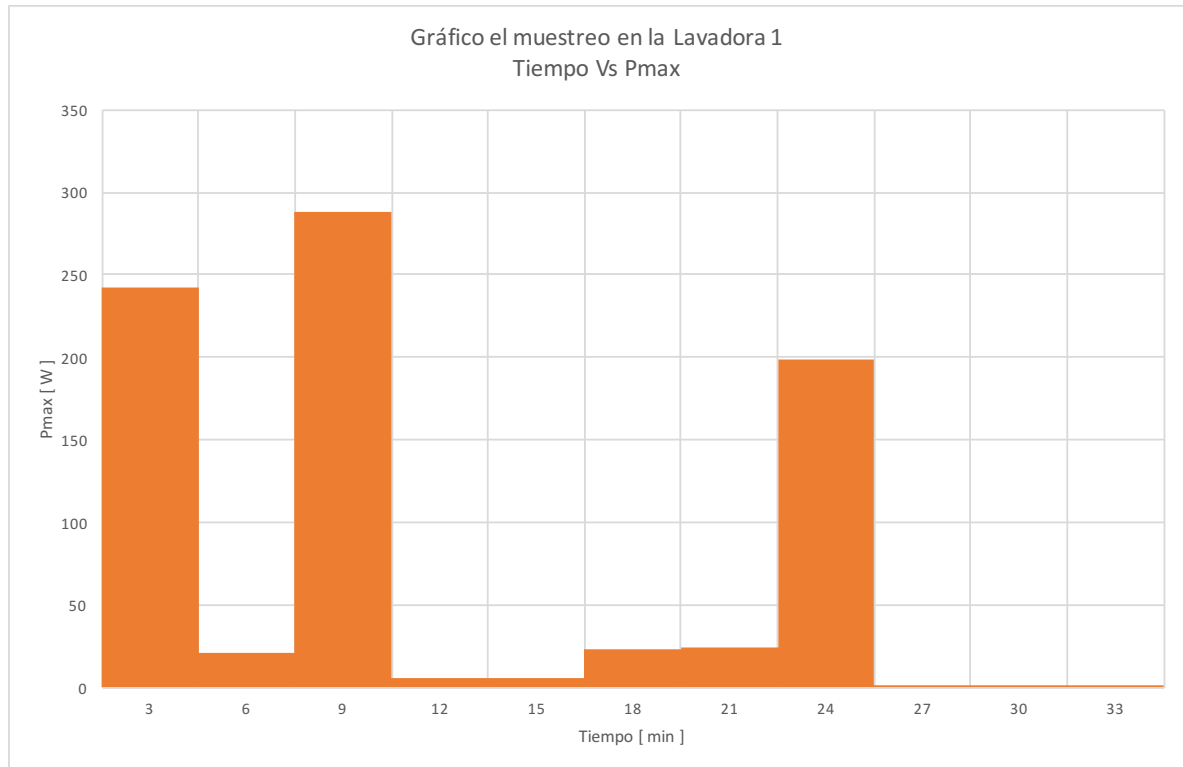


Tabla 2 Energía consumida por la lavadora 1 en kWh / ciclo

Tiempo [h]	Pmáx [W]	Pmáx [kW]	Energía por ciclo [kWh]
0,05	242,7	0,2427	0,012135
0,05	20,7	0,0207	0,001035
0,05	287,5	0,2875	0,014375
0,05	5,7	0,0057	0,000285
0,05	6	0,006	0,0003
0,05	23,1	0,0231	0,001155
0,05	23,6	0,0236	0,00118
0,05	198,3	0,1983	0,009915
0,05	0,3	0,0003	0,000015
0,05	1,42	0,00142	0,000071
0,05	0,3	0,0003	0,000015
0,55	809,62	0,80962	0,040481

Un ciclo completo de lavado en la lavadora 1 se consume 0,40481 kWh / ciclo. Si el promedio de uso de la lavadora es de dos ciclos cada día de por medio lo equivale a un promedio de un ciclo diario nos da que la energía consumida en el mes es de 12,14 kWh / mes

6.3.2 Lavadora 2

Para un ciclo completo de lavado de la lavadora 2 se obtuvieron los siguientes datos de potencia mínima 0,7 W, de potencia máxima 653,6 W y de energía consumida en casi 55 minutos que duró el ciclo es 0,358 kWh / ciclo. Teniendo en cuenta que la lavadora tiene un promedio de uso de 30 ciclos por mes se puede calcular la energía consumida por mes es de 10,74 kWh / mes.

Tabla 3. Datos de energía, potencia mínima y potencia máxima en 54 minutos de la lavadora 2

Tiempo [min]	Pmín [W]	Pmáx [W]	Energía [kWh]
0:54:53	0,7	653,6	0,358

6.3.3 Nevera 1

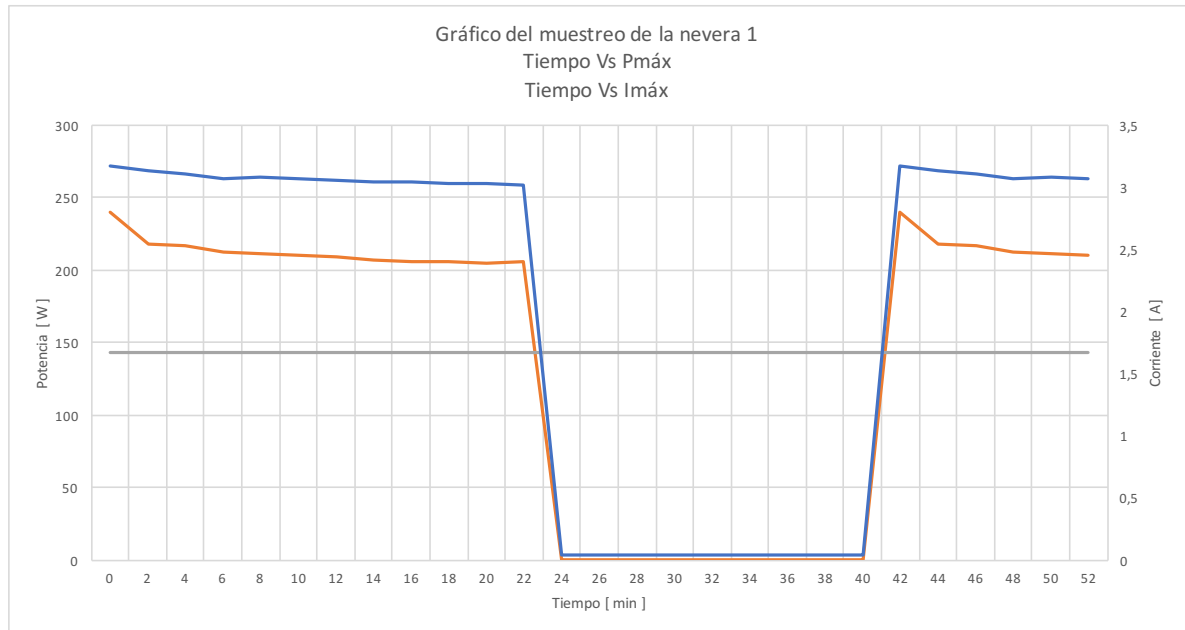
Para el muestreo de la corriente y potencia de la nevera 1 se realizaron tomas de corriente y potencia demandada por la lavadora en el ciclo de carga y descarga de la nevera. El tiempo de muestreo fue de 52 minutos, durante los cuales se tomaron 27 muestras de corriente y potencia demandada por la lavadora los cuales están consignados en la Tabla 5.

De los datos presentados en la tabla 4 se obtiene que el valor de Corriente máxima durante el periodo de muestreo es de 3,17 Amperios, la potencia máxima demandada durante periodo de muestreo es de 240,3 Watts y la potencia promedio demandada durante el ciclo es de 142,78 W. En la figura 10 se grafica la potencia (eje primario vertical), la corriente (eje secundario vertical) y la potencia promedio (eje primario vertical) para cada muestra tomada cada 2 minutos.

Tabla 4. Muestreo de la corriente y de la potencia en intervalos de 2 minutos para la nevera 1

V = 106 v		
Tiempo [min]	I máx [A]	Pmáx [W]
0	3,17	240,3
2	3,13	217,3
4	3,1	216,3
6	3,07	211,8
8	3,08	211,5
10	3,07	210,5
12	3,05	209
14	3,04	207,1
16	3,04	206,1
18	3,03	206,1
20	3,03	204,1
22	3,02	205,3
24	0,04	0,4
26	0,04	0
28	0,04	0,4
30	0,04	0
32	0,04	0,4
34	0,04	0
36	0,04	0,4
38	0,04	0
40	0,04	0,4
42	3,17	240,3
44	3,13	217,3
46	3,1	216,3
48	3,07	211,8
50	3,08	211,5
52	3,07	210,5

Figura 10. Gráfico del muestreo de la nevera 1



El cálculo de energía absorbida para la lavadora 1 está dado por el área bajo la curva de la demanda vs tiempo.

$$Energía = \int_0^T D(t)dt = \sum D_i * \Delta t_i$$

Figura 11 Curva de carga de la nevera 1 discretizada en intervalos de 2 minutos

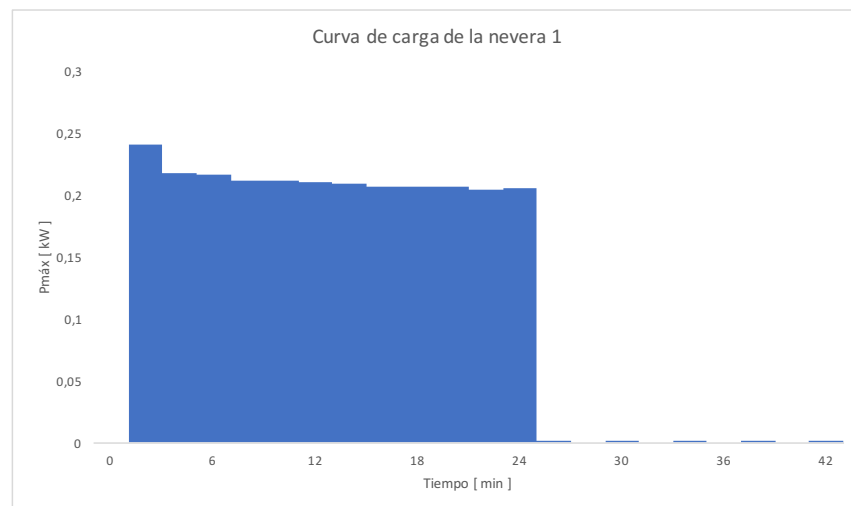


Tabla 5 Energía demandada por la nevera 1 en kWh

V = 106 v		
Tiempo [min]	P _{máx} [kW]	Energía [kW/h]
0	0,000000	0,000000
2	0,240300	0,008010
4	0,217300	0,007243
6	0,216300	0,007210
8	0,211800	0,007060
10	0,211500	0,007050
12	0,210500	0,007017
14	0,209000	0,006967
16	0,207100	0,006903
18	0,206100	0,006870
20	0,206100	0,006870
22	0,204100	0,006803
24	0,205300	0,006843
26	0,000400	0,000013
28	0,000000	0,000000
30	0,000400	0,000013
32	0,000000	0,000000
34	0,000400	0,000013
36	0,000000	0,000000
38	0,000400	0,000013
40	0,000000	0,000000
42	0,000400	0,000013
44	0,240300	0,008010
46	0,217300	0,007243
48	0,216300	0,007210
50	0,211800	0,007060
52	0,211500	0,007050
54	0,210500	0,007017
56	0,209000	0,006967
58	0,207100	0,006903
60	0,206100	0,006870
		0,14924

Cuya energía demandada por la nevera 1 por hora es 0,14924 kWh. Dado que la nevera es una carga cíclica durante el día. La energía demandada por la nevera 1

por día es 3,58176 kWh /día, lo que quiere decir que en un mes la nevera 1 consume 107,4528 kWh /mes.

6.3.4 Nevera 2

Para un periodo de 53 minutos de la nevera 2 se obtuvieron los siguientes datos de potencia mínima 24,3 W, de potencia máxima 765,2 W y de energía consumida en el muestreo fue de 394,75 kWh.

Tabla 6. Potencia mínima, potencia máxima y energía de la nevera 2.

Tiempo [min]	Pmín [W]	Pmáx [W]	Energía [kWh]
0:52:51	24,3	765,2	394,75

Dado que la nevera es una carga cíclica durante el día. La energía demandada por la nevera 2 por día es 9,474 kWh /día, lo que quiere decir que en un mes la nevera 2 consume 284,22 kWh /mes.

6.4 ANÁLISIS DE CONSUMO DIARIO Y MENSUAL DE LAS CARGAS DE MAYOR DEMANDA

Una vez realizados los cálculos de energía demandada por las cuatro cargas que se identificaron como de mayor consumo se tiene la tabla de consolidados así;

Tabla 7 Consolidado de cargas de mayor demanda

Carga	Energía [kWh /día]	Energía [kWh /mes]
Lavadora 1	0,405	12,15
Lavadora 2	0,358	10,74
Nevera 1	3,582	107,45
Nevera 2	9,474	284,22
TOTAL	13,819	414,57

Con base en la anterior tabla de consumo se puede deducir que el consumo fijo del mes es de 414,57 kWh / mes debido a las dos neveras y las dos lavadoras que se tienen en uso en la fundación. En consecuencia, el consumo adicional es

ocasionado por las demás cargas como bombillos, televisores, radios y demás artefactos electrónicos.

6.5 ANÁLISIS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA

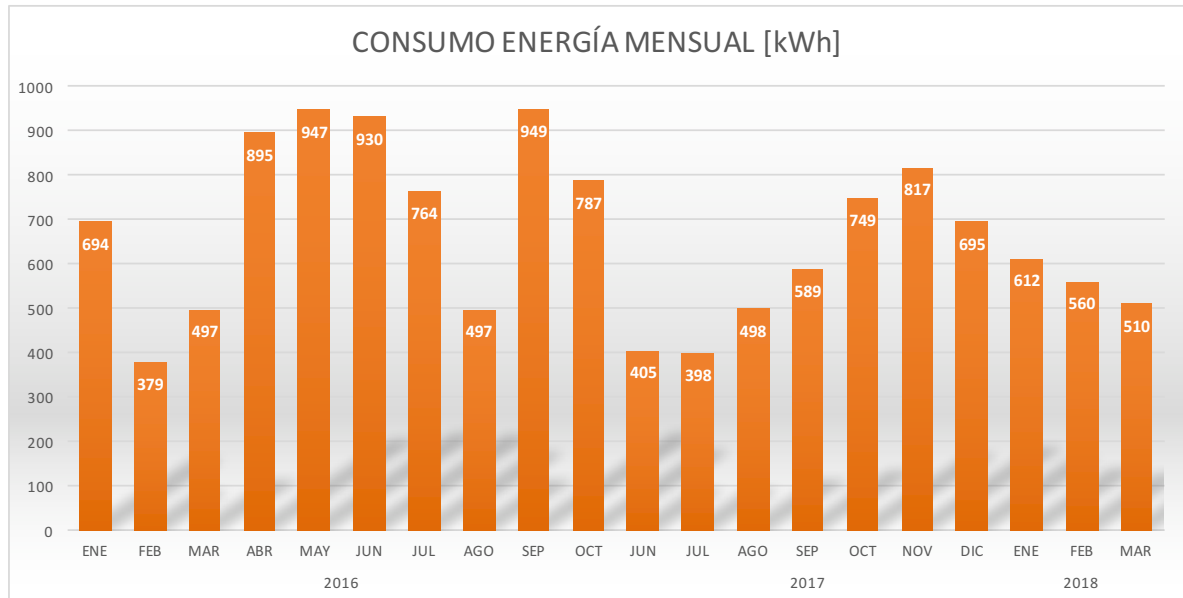
Para la realización del análisis de la eficiencia del sistema se procedió a recopilar la mayor cantidad de información posible sobre el consumo mensual. Para ello se hizo uso del archivo de la fundación para revisar una a una las facturas de energía. Se logró obtener la información presentada en la tabla 8.

Tabla 8. Información de consumo

AÑO	MES	CONSUMO	
		kW	kVA
2016	ENE	694	
	FEB	379	
	MAR	497	
	ABR	895	
	MAY	947	
	JUN	930	
	JUL	764	
	AGO	497	
	SEP	949	
	OCT	787	
2017	JUN	405	
	JUL	398	
	AGO	498	
	SEP	589	
	OCT	749	
	NOV	817	
	DIC	695	638
2018	ENE	612	535
	FEB	560	517
	MAR	510	395

Con esta información se puede realizar la curva de carga de históricos meses. Con esta curva de carga se puede evidenciar que esta carga no tiene una tendencia en el consumo de energía. Sin embargo, se nota que a partir del mes de noviembre de 2017 se presentó una disminución en el consumo de energía mensual. Esto es importante porque el sistema híbrido fotovoltaico empezó su funcionamiento en pleno en el mes de diciembre de 2017 y ha venido funcionando hasta la fecha.

Figura 12. Curva de carga de históricos mensual



Dado que la carga no presenta una tendencia de comportamiento en el consumo de energía mes a mes entonces se realiza un promedio de consumo antes y un promedio de consumo después de la instalación y puesta de marcha del sistema híbrido foto voltaico esto con el fin de obtener una diferencia promedio ente los consumos mensuales para determinar cuál es el aporte de energía del sistema fotovoltaico.

La energía promedio se obtiene con un promedio aritmético el cual consiste en la sumatoria de los consumos dividido entre la cantidad de datos de la sumatoria. Obteniendo así el promedio de energía de antes de la instalación y después de la instalación del sistema fotovoltaico.

$$E_{prom \text{ antes}} = \frac{694 + 379 + 497 + 895 + 947 + 930 + 764 + 497 + 949 + 787 + 405 + 398 + 498 + 589 + 749 + 817}{16}$$

$$E_{prom \text{ antes}} = 774,69 \text{ kWh}$$

$$E_{prom \text{ despues}} = \frac{695 + 612 + 560 + 510}{4}$$

$$E_{prom \text{ despues}} = 594,25 \text{ kWh}$$

Ahora entonces, la diferencia entre el promedio de antes y de después de energía consumida es de 80,44 kWh/mes los cuales corresponderían a la energía promedio mensual entregada por el sistema solar fotovoltaico.

Ahora el cálculo de la eficiencia del sistema está dado por la razón que existe entre la energía entregada por el sistema solar y la energía nominal que el sistema puede entregar en función de las horas pico solares (HSP)

$$\eta = \frac{E_{real}/mes}{E_{teórica}/mes}$$

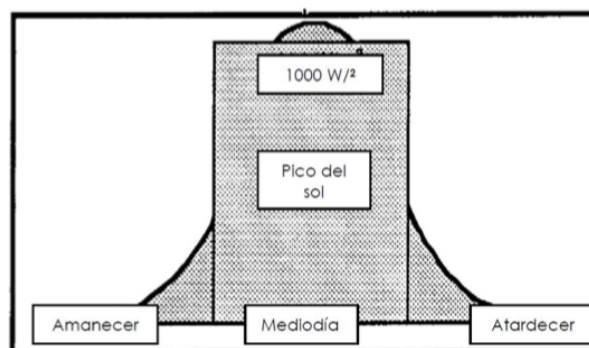
Donde,

E_{real}/mes : Energía real entregada por el sistema fotovoltaico por mes
 $E_{teórica}/mes$ Energía teórica entregada en función de HSP por mes

Las horas solares pico están dadas como una unidad que mide la irradiación solar en un lugar específico y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una irradiación solar constante de 1kW/m^2 .

De manera gráfica se presenta una distribución por hora de la irradiación sobre la superficie de un lugar específico. Se observa que estos niveles de irradiación varían a lo largo del día dependiendo del clima, de las nubosidades, de la contaminación atmosférica, etc. (PICO, 2013)

Figura 13 Horas sol pico (HSP) (Salas, 2014)



Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP. Se puede deducir fácilmente que, si los

valores de radiación solar disponibles están expresados en kWh/m², coinciden numéricamente con los que resultan al expresarlos en HSP.

Analizando la figura 2 se deduce que la radiación solar en Pereira está en promedio entre 4,5 – 5,0 kWh/m². Para los cálculos se usará el valor medio de este intervalo, por tanto, se trabaja con 4,75 kWh/m².

Ahora pues el cálculo de las HSP está dado por;

$$HSP = \frac{4,75 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,75 \text{ h}$$

Dado que el sistema instalado tiene 1kilowatt pico instalado se puede saber que:

$$E_{teórica}/día = 1 \text{ kWp} * 4,75 \text{ HPS} = 4,5 \text{ kWh/día}$$

Ahora para tener la energía teórica por mes entregada por el sistema se multiplica por 30 días que tiene el mes dando como resultado 142,5 kWh/mes.

Con los datos de energía teóricos y reales por mes entregados por el sistema fotovoltaico se puede hallar el valor de la eficiencia del sistema, así;

$$\eta = \frac{80,44 \text{ kWh/mes}}{142,5 \text{ kWh/mes}} * 100\%$$

$$\eta = 56,45 \%$$

Es de esperarse que el sistema no posea un ciento por ciento de eficiencia dado que existen variables que no se incorporaron en el diseño, por ejemplo, la inclinación de la tierra con respecto al sol, las pérdidas en los conductores, los malos empalmes entre conductores que incrementan el índice de pérdidas del sistema.

7 Bibliografía

- Rodríguez, J. D., Pabón Fernández, L., & Pardo García, A. (2012). Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. *Lámpsakos*, 7, 69-77.
- Gallardo, G. I. (2012). *Instalación fotovoltaica conectada a red integrada en un edificio*. Universidad Carlos III de Madrid, Ingeniería eléctrica, Leganés.
- EL TIEMPO. (5 de junio de 2015). Recuperado el 9 de Febrero de 2018, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15901037>
- Pragya, N., R.K., N., & Saroj, R. (Octubre de 2009). A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2096-2103.
- solar, C. f. (s.f.). *Cemaer*. Recuperado el marzo de 2018, de <http://www.cemaer.org/como-funciona-un-panel-solar/>
- Lorenzo, J. A. (s.f.). Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. Santiago de Compostela, Coruña, España.
- Murcia, H. R. (15 de enero de 2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería. Universidad de los andes*, 83-89.
- Mi factura eléctrica*. (s.f.). Recuperado el Mayo de 2018, de mifactura.es
- Clima promedio en pereira matecaña colombia durante todo el año*. (s.f.). Recuperado el mayo de 2018, de <https://es.weatherspark.com/y/149852/Clima-promedio-en-Pereira-Matecana-Colombia-durante-todo-el-año>
- Salas, P. D. (junio de 2014). DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 15 COMPUTADORAS PORTÁTILES EN LA PUCP. Lima, Perú.
- PICO, C. I.-G. (11 de abril de 2013). *calculationssolarblog*. Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://calculationsolar.com/blog/?p=7>